

10/560247

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-185079

(43)Date of publication of application : 28.06.2002

(51)Int.Cl.

H01S 5/183

(21)Application number : 2000-381433

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 15.12.2000

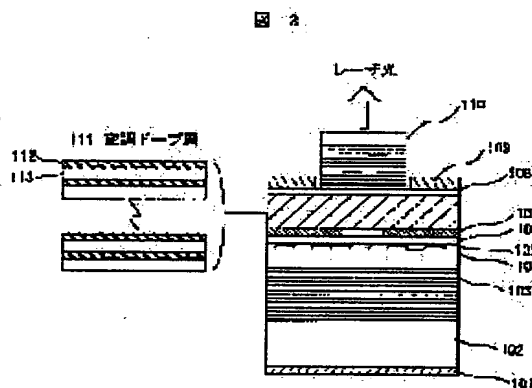
(72)Inventor : KITATANI TAKESHI
KONDO MASAHIKO
TANAKA TOSHIKI

(54) SURFACE-EMITTING LASER, OPTICAL MODULE USING THE SAME, AND OPTICAL SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a surface-emitting semiconductor laser which can operate at a high speed of ≥ 10 Gb/s and an optical module.

SOLUTION: The surface-emitting semiconductor laser has at least an active layer area 105 which generates light, a current constricting area 107 which is arranged on one side of the area 105 opposite to a semiconductor substrate 102, an optical resonator which is constituted by sandwiching the active layer area 105 and current constricting areas 107 with reflecting mirrors from the top and bottom sides in the direction of lamination of semiconductor layers, a first electrode provided on the substrate 102 side of the current constricting area, and a second electrode provided on the side opposite to the substrate 102 on the semiconductor substrate 102. The laser also has a semiconductor layer area having a laminated structure, which can generate two-dimensional carriers between the current constricting area 107 and the second electrode.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

13.09.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2002-185079
(P2002-185079A)

(43)公開日 平成14年6月28日(2002.6.28)

(51)Int.Cl.⁷

H 0 1 S 5/183

識別記号

F I

H 0 1 S 5/183

テーマコード(参考)

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願2000-381433(P2000-381433)

(22)出願日 平成12年12月15日(2000.12.15)

(71)出願人 000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(72)発明者 北谷 健
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者 近藤 正彦
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(74)代理人 100068504
弁理士 小川 勝男 (外2名)

最終頁に続く

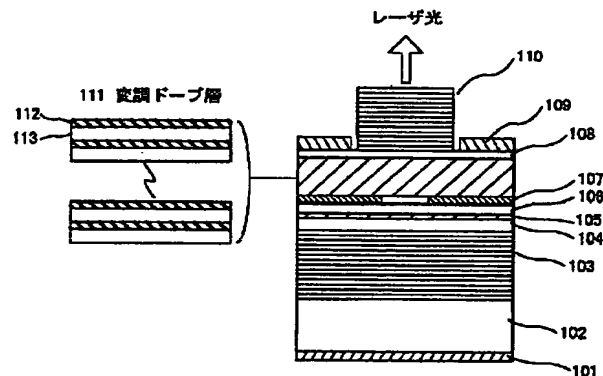
(54)【発明の名称】 面発光型レーザ装置、これを用いた光モジュール、及び光システム

(57)【要約】 (修正有)

【課題】 10Gb/s以上の高速動作が可能な面発光半導体レーザ装置、および光モジュールを提供する。

【解決手段】 半導体基板102上に、光を発生する活性層領域105と、この活性層領域を挟んで半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域107と、当半導体層の積層方向において、活性層領域と電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、電流狭窄領域を挟んで、半導体基板側に設けられた第1の電極と、半導体基板と反対側に設けられた第2の電極とを少なくとも有し、電流狭窄領域と第2の電極の間に2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有する面発光型レーザ装置である。

図 3



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第1の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第2の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第2の電極の間に2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有することを特徴とする面発光型レーザ装置。

【請求項2】 半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第1の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第2の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第2の電極の間の少なくとも一部に2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有し、且つ前記2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域が、高濃度に不純物を含有し且つ広い禁制帯幅を有する第1の半導体層と、前記第1の半導体層より低い濃度で不純物を含有するかあるいは実質的に不純物を含有せず且つ前記第1の半導体層より狭い禁制帯幅を有する第2の半導体層とを少なくとも有してなることを特徴とする面発光型レーザ装置。

【請求項3】 半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第1の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第2の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第2の電極の間に2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有し、且つ当該2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域の少なくとも一部が前記光共振器内に含まれることを特徴とする面発光型レーザ装置。

【請求項4】 半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第1の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第2の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第2の電極の間の少なくとも一部に2次元キャリアの生成が可能な積層構造

を有する半導体層領域を有し、当該2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域の少なくとも一部が前記光共振器内に含まれ、且つ前記2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域が、高濃度に不純物を含有し且つ広い禁制帯幅を有する第1の半導体層と、前記第1の半導体層より低い濃度で不純物を含有するかあるいは実質的に不純物を含有せず且つ前記第1の半導体層より狭い禁制帯幅を有する第2の半導体層とを少なくとも有してなることを特徴とする面発光型レーザ装置。

【請求項5】 前記2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域の当該レーザ光の吸収が1%未満であることを特徴とする請求項3及び請求項4のいずれかに記載の面発光型レーザ装置。

【請求項6】 半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第1の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第2の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第2の電極の間に2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有し、且つ当該2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域が前記光共振器の外部にあることを特徴とする面発光型レーザ装置。

【請求項7】 半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第1の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第2の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第2の電極の間の少なくとも一部に2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有し、当該2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域が前記光共振器外にあり、且つ前記2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域が、高濃度に不純物を含有し且つ広い禁制帯幅を有する第1の半導体層と、前記第1の半導体層より低い濃度で不純物を含有するかあるいは実質的に不純物を含有せず且つ前記第1の半導体層より狭い禁制帯幅を有する第2の半導体層とを少なくとも有してなることを特徴とする面発光型レーザ装置。

【請求項8】 前記高濃度に不純物を含有する第1の半導体層がp導電型を有し、当該2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域におけるキャリアが正孔であることを特徴とする請求項2より請求項7のいずれかに記載の面発光型レーザ装置。

【請求項9】 所定の枠体に、請求項1より請求項8の

いずれかに記載の面発光型レーザ装置を光源として有することを特徴とする光モジュール。

【請求項10】 請求項1より請求項8のいずれかに記載の面発光型レーザ装置あるいは請求項9に記載の光モジュールの少なくとも一者を有することを特徴とする光システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本願発明は、垂直共振器を有する面発光型レーザ装置とそれを有した光モジュール、及び、光システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年のインターネット人口の爆発的増大により、オフィス等のローカルエリアネットワーク（LAN）においては情報伝送の急速な高速化が求められている。5～10年後には、末端ユーザにおいてはGb/sレベル、HUB（中継器）間を結ぶバック・ボーン（backbone）においては10Gb/sレベルを超える伝送速度が必要になると予測されている。そのため近い将来には、末端ユーザまで光ファイバーを用いた光通信の全面的導入が必須であると考えられる。通常、光通信には、半導体レーザ、受光素子、及び、それらの駆動回路等を組み込んだ光モジュールが用いられる。将来のLANで用いられる光モジュールにおいては、10Gb/sを超える高速伝送が可能であるという性能面での要求に加えて、莫大な数の一般ユーザが使用することを念頭におき、低コストで提供することが必須となる。

【0003】図1に、これまでに知られている10Gb/sを超える高速光モジュールの概略図を示す。

【0004】ここで、401は半導体レーザ装置、402はレーザ駆動回路、403は半導体レーザ装置よりの光出力のモニター用の受光素子、404は素子の温度安定化のためのペルチェ素子、405は受光素子、406は受光素子駆動回路、407は光モジュールパッケージ全体、408は光モジュールを動作させる外部回路、409は光ファイバーである。光モジュールは、外部回路408に従って、半導体レーザ装置401からレーザ光を発生する。ここで、10Gb/sを超える高速変調光は、外部変調器403を通して送信される。また、相手の光モジュールから送信された光信号を、受光素子405によって受信する。全ての光信号は、光ファイバー409を通して高速でやり取りされる。ここで、半導体レーザ装置としては、ガリウムインジウム砒素（GaInPAs）系の半導体材料を活性層に用いた端面発光型のレーザが主として用いられている。発振波長は、長距離、高速伝送が可能なシングルモードファイバーへ適用できる1.3μm、あるいは1.55μmである。

【0005】一般に、GaInPAs系レーザは、素子温度が上昇した時に、しきい値電流が大きく増大すると

いう欠点を有している。そのため、温度安定用のペルチェ素子404を組み込む必要があった。以上により、光モジュールを構成する部品数が多く、その為モジュールサイズも大型であり、光モジュール自体のコストが高かった。これは、従来10Gb/sという伝送速度のレベルが、主としてコストよりも性能が重視される幹線系伝送網に用いられていたことと大きく関連している。こうした観点から、従来の10Gb/s光モジュールは、低コスト化が必須の将来のLANへの適用において本質的に不向きである。尚、図中の点線は、半導体レーザ設置の光送信側と、受光素子設置の光受信側との区切りを示すが、それぞれの部分が独立して、光送信モジュール、及び、光受信モジュールとして構成される場合もある。また、図では、光出力モニター用の受光素子等は省略して示してある。

【0006】それに対して、将来的にLANで使用される高速光モジュールに適した光源として、面発光レーザが注目を集めている。面発光レーザは、その共振器長が僅か数μmであり、端面発光レーザの共振器長（数100μm）に比べてはるかに短く、基本的に高速特性に優れる。さらに、（1）ビーム形状が円形に近く光ファイバとの結合が容易であること、（2）製造工程中では、へき開工程が不要でウエハ単位の素子検査が可能であること、（3）低しきい値電流でレーザ発振し低消費電力といった低コスト化においても優れた特徴を有する。また、レーザの発振波長に関しても、近年、ガリウムインジウム砒素（GaInPAs）、ガリウム砒素アンチモン（GaAsSb）といったガリウム砒素（GaAs）基板上に形成可能な新しい半導体材料による1.3μm帯の面発光レーザの発振が相次いで報告されている。

【0007】これらの半導体レーザ装置は、長距離、高速伝送が可能なシングルモードファイバーに適合する長波長帯面発光レーザ実用化の期待が非常に高まっている。特に、GaInPAsを活性層に用いた場合には、伝導帯における深いポテンシャル井戸で電子を閉じ込めることができ、温度に対する特性の安定性も大幅に改善できると予測されている。GaInPAsを活性層に用いた長波長帯面発光レーザ装置は、こうした利点により、高性能、且つ低コストで、LANでの使用に適した光モジュールを提供することが、可能であると期待されている。

【0008】面発光レーザの基本構成は、光を発生する活性層と、活性層の微小領域に電流を注入するための電流狭窄層、及び、当前記活性層を上下に挟むように配置された1組の反射鏡からなる光共振器をもって構成されている。通例、前記反射鏡は半導体多層膜反射鏡（DBR）が用いられ、電流は、この反射鏡の半導体多層膜を介して、活性層に注入される。

【0009】一方、半導体多層膜反射鏡は抵抗が高いの

10

20

30

40

50

で、上部の例えば、半導体多層膜になる反射鏡を介さず電流を注入する別構造の面発光レーザも検討されている。一例として、日本国公開公報、特開平 11-204875 号公報（1999/7/30 公開）に記載の面発光レーザがある。図 2 にその素子構造図を示す。ここで、501 は下部電極、502 は半導体基板、503 は下部多層膜反射鏡、504 は第 1 スペーサー層、505 は活性層、506 は第 2 スペーサー層、507 は電流狭窄層、508 は電流導入層、509 は第 3 スペーサー層、510 は上部電極、511 は上部の多層膜反射鏡である。上部電極 510 を、上部多層膜反射鏡 511 の横に配置しているため、上方からの注入電流は、第 3 スペーサー層 509 から電流導入層 508 を通して、電流狭窄層 507 で限定されたアパーチャーに導かれ、活性層 505 に導入される。即ち、注入される電流は、上部多層膜反射鏡 511 を介さないの、素子抵抗の低減が図れる。さらに本構造においては、ドーピング濃度を高くした電流導入層 508 を導入し、電極とアパーチャー間の基板面に対して水平方向の抵抗成分（以下、横方向抵抗と記述する。）の低減を試みている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本願発明は、高速動作が可能な面発光半導体レーザ装置を提供せんとするものである。本願発明は、例えば、10Gb/s 以上の高速動作を達成せんとする。

【0011】本願発明の別な目的は、高速動作が可能で且つ安価な面発光半導体レーザ装置を提供せんとするものである。

【0012】本願発明の更に別な目的は、より高速動作が可能な面発光半導体レーザ装置搭載の光モジュール

【0013】こうした課題に対応する為に技術的には、面発光レーザにおける以下の課題を解決することを要する。即ち、第 1 点は、抵抗の高い上部の半導体多層膜反射鏡を介さず電流を活性層領域に注入できる面発光型レーザ装置構造を採用することである。この為には、電極からアパーチャーを通過し、活性層領域に注入される電流の横方向抵抗を低減できる新たな手法を提供し、10Ω前後の大幅な素子抵抗の低減を達成することが必要となる。

【0014】

【課題を解決するための手段】本願発明の代表的な形態は、半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第 1 の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第 2 の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第 2 の電極の間に 2 次元キャリア

の生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有することを特徴とする面発光型レーザ装置である。

【0015】前記 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域は、本願発明の目的に、わけても、いわゆる変調ドーピングがなされていることが好ましい。即ち、本願発明の第 2 の形態は、半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第 1 の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第 2 の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第 2 の電極の間の少なくとも一部に 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有し、且つ前記 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域が、高濃度に不純物を含有し且つ広い禁制帯幅を有する第 1 の半導体層と、前記第 1 の半導体層より低い濃度で不純物を含有するかあるいは実質的に不純物を含有せず且つ前記第 1 の半導体層より狭い禁制帯幅を有する第 2 の半導体層とを少なくとも有してなることを特徴とする面発光型レーザ装置である。

【0016】前記 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域は、前記電流狭窄領域と前記第 2 の電極の間の少なくとも一部に存在すれば、その効果を発揮する。後述する実施例では、当該 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域は基板面に対してほぼ全面に形成されている。実際の製造において、より現実的な形態が説明されているが、本願発明の目的である、前記電流狭窄領域と前記第 2 の電極の間の電流通路に 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造が存在することが重要なのである。あるいは、逆な見方をすれば、2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する領域が電流通路の主要部分を構成するのである。従って、基板面に平行な面に対して全面に 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を形成することは、必ずしも必要ではない。また、2 次元キャリアの生成が可能な積層構造と電流狭窄領域の間に、更に半導体層が挿入されることも有り得る。この場合も、2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を設けることによる効果は発揮される。

【0017】このように、本願発明の基本構成は、電流狭窄領域を挟んで基板と逆側に配置された電極から前記電流狭窄領域へ流れる電流が、基板面に対して水平方向の成分を有する面発光レーザにおいて、前記水平方向の電流成分を、主として 2 次元キャリアガスのチャンネルを介して伝導させるものである。具体的には、前記 2 次元キャリアガスのチャンネルが、前記電極と電流狭窄領域間の少なくとも一部に、少なくとも 1 種類の禁制帯幅の広い半導体からなる高濃度ドーピング層と、少なくとも 1 種類のそれより禁制帯幅の狭い半導体からなる低濃

度ドーピング層（この低濃度ドーピング層にはドーピングを施さない場合も含んで考えて十分である）とを積層した変調ドーブ構造によって形成されることにより達成される。

【0018】こうして、本願発明の主目的の達成に、p型伝導に起因する面発光レーザ装置の抵抗低減を図り、そのために、主として正孔をキャリアにした2次元正孔ガスを用いる。

【0019】

【発明の実施の形態】本願発明の基本構成を上記した10 が、次に、本願発明の主な実施の形態を列挙する。

【0020】本願発明の第1の形態は、半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、前記活性層領域と前記電流狭窄領域の上下を反射鏡で挟んだ光共振器とを有し、前記電流狭窄領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電極から前記電流狭窄領域へ流れる電流が、基板面に対して水平方向の成分を有し、前記水平方向の電流成分が、主として2次元キャリアガスのチャンネルを介して流れる面発光型レーザ装置である。

【0021】本願発明の第2の形態は、前記第1の形態における2次元キャリアガスのチャンネルが、前記電極と電流狭窄領域間の少なくとも一部において、少なくとも1種類の禁制帯幅の広い半導体からなる高濃度ドーピング層と、少なくとも1種類のそれより禁制帯幅の狭い半導体からなる低濃度ドーピング層（ドーピングを施さない場合も含む）とを積層した変調ドーブ構造によって形成されている面発光型レーザ装置である。

【0022】本願発明の第3の形態は、前記第2の形態における変調ドーブ構造によるレーザ波長光の吸収が1%未満であり、前記変調ドーブ構造が、光の導波する共振器内を含んで設けられる面発光型レーザ装置である。変調ドーブ構造が光共振器の内部に組み込まれていても、この構造におけるレーザ光の吸収が1%未満であれば、十分通例の面発光型レーザ装置と同様に駆動することが出来る。勿論、次に例示するように、変調ドーブ構造を光共振器の外部に設けると、こうしたレーザ光の吸収の問題は回避される。

【0023】本願発明の第4の形態は、前記第2の形態における変調ドーブ構造が、光の導波する共振器外に設けられることを特徴とする面発光型レーザ装置。

【0024】本願発明の第5の形態は、前記第1より第4の形態における変調ドーブ構造における高濃度ドーピング層がp型であり、2次元キャリアガスが正孔である面発光型レーザ装置である。

【0025】本願発明の第6の形態は、前記第2より第5の形態における変調ドーブ構造における高濃度ドーピング層にAlGaAs、AlGaInP、或いは、それらの積層構造、そして、低濃度ドーピング層にGaAs、GaInAs、或いは、それらの積層構造が用いら

れている面発光型レーザ装置である。ここに列挙したIII-V族化合物半導体材料は、本願発明の実施に極めて好都合な材料である。これらの材料は、面発光型レーザ装置の各種特性の観点から優れた特性を得ることが容易であるGaAs基板上に良好な膜が形成し易いのである。従って、当該面発光型レーザ装置においても、より良好な特性を容易に得ることが出来る。

【0026】次に、具体的な実施の形態を説明するに先立って、本願発明の基本思想の詳細を追加説明する。

【0027】10Gb/sを超える高速の動作特性を有する光モジュール実現に対しては、当然のことながら、光源として用いる面発光レーザにおいて10Gb/sを超える高速特性を達成する必要がある。そのためには、面発光レーザ装置の抵抗(R)、及び、容量(C)の低減が不可欠である。

【0028】一般に、半導体レーザ装置の基礎的な変調特性は、素子の光出力が3dB低下する変調周波数(f3dBと略記する)で評価される。ここで、f3dBは、RとCを用いて以下の式(1)で表される。

$$f_{3dB} = 1 / (2\pi R \cdot C) \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

こうした事実は、例えば、先端光エレクトロニクスシリーズ「面発光レーザの基礎と応用」共立出版発行、伊賀健一、小山二三夫共著、の第184頁に説明されている。

【0029】上記式(1)から、素子のf3dBとして、数10Gb/sを達成するには、素子抵抗を10Ω前後まで低減する必要があることが理解される。ここで、面発光レーザ装置の容量は、一般的な値として500fFと仮定した。素子容量をさらに低減できれば、素子抵抗の許容量は、例えば10Ωより大きくできるが、その場合にも、低抵抗化が重要であることは言うまでもない。更に、約10Ωの素子抵抗は端面発光型のレーザに匹敵する低い値であり、これが実現できれば、従来、端面発光型レーザに用いてきたレーザの駆動回路等を流用できる可能性がある。その場合、新たな開発コストなどが不要になり、本願発明による面発光レーザ装置を用いた光モジュールの低コスト化において有利である。＜従来技術との比較考察＞面発光レーザには、AlAs/GaAs系の半導体多層膜になる反射鏡が主として用いられていることは、既に述べた。従来素子では、上部にp型のAlAs/GaAs系の半導体多層膜になる反射鏡の上に電極が配置され、この半導体多層膜反射鏡を通して活性層に電流が注入されていた。その際、AlAs/GaAs系半導体のヘテロ界面におけるエネルギー差は、有効質量の重い正孔にとって大きな抵抗成分になり、素子抵抗を増大させてしまうことが問題である。その対策として、AlAs/GaAsヘテロ界面に組成を徐々に変化したAlGaAs半導体層を導入し、かつ、そのAlAs側のみにp型ドーピングを施して、ヘテロ界面の抵抗成分を低減する等の試みがなされてい

る。しかしながら、本質的にp型AlAs/GaAs系半導体多層膜反射鏡の抵抗が高く、大幅な素子抵抗の低減を達成することは困難である。

【0030】一方、前述の特開平11-204875 (1999/7/30公開)に記載の面発光レーザについて検討してみる。この例は、抵抗の高い上部p型半導体多層膜反射鏡を介さず電流を注入する構造を有している。

【0031】横方向抵抗は、シート抵抗(Rc)に比例する。ここで、Rcは以下の式(2)で表される。

$$Rc = 1 / (Ns \cdot e \cdot \mu) \quad (2)$$

ここで、Nsは層のシート・キャリア濃度、eは電気素量、μは層の移動度、tは層の膜厚である。Nsは、キャリア濃度(p)と層の移動度(μ)の積(Ns = pμ)で表される。

【0032】前述の図2に示す従来素子では、電流導入層508には通常の半導体膜が用いられる。半導体膜においては、キャリア濃度p(即ち、シート・キャリア濃度Ns)を増大させれば、ドーピング材料等による散乱要因が増大し、μが低下するというトレードオフの関係が存在する。そのため、図2に示した従来構造では、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高濃度ドーピングを施さなくては大幅な素子抵抗の低減を達成できない。また、電流狭窄層507、電流導入層508を素子内部に埋め込むため、再成長工程が余分に必要となる。ここで、第3スペーサー層509を再成長する際に、電流狭窄層507、電流導入層508を除去した後のアパーチャー部の段差が大きいと、段差部にファセットが生じ、僅か数μm径のアパーチャー部へせり出す等の悪影響を及ぼす。見積によれば、本構造において10Ω前後の素子抵抗を達成する際には300nm以上の膜厚段差が生じる。よって、既に記述した様な結晶成長上の観点から、目標の素子抵抗値の達成は非常に困難であると考えられる。

<本願発明の代表形態>次に、これらの例に見られる難点を回避した本願発明の形態を詳細に説明する。図3に本願発明による素子構造の断面図を示す。ここで、いわゆる変調ドーブ層111は図の左側に拡大して詳細を示した。図4はこの上面図である。

【0033】図3において、符号101は下部電極、102は半導体基板、103は下部の多層膜反射鏡、104は第1のスペーサー層、105は活性層領域、106は第2のスペーサー層、107は電流狭窄層、108は第3のスペーサー層、109は上部電極、110は上部の多層膜反射鏡、111は変調ドーブ層、112は高濃度ドーピング層、113は低濃度ドーピング層である。この層113にはドーピングを施さない場合もあり、符号113はこうした層も含むものとする。電流狭窄層107の形成方法は通例の方法に従って十分である。その一例は後述される。

【0034】前記変調ドーピング層は、当該技術分野で

用いられる構成を用いて十分である。層の具体的仕様は、材料、例えばIII-V族化合物半導体材料の選択やレーザの特性に対する要求仕様によって選択されるが、その代表的な例を例示すれば、次の通りである。例えば、GaAsを基板とする面発光レーザ装置では、高濃度ドーピング層は、例えば、AlGaAs、AlGaInP、あるいはこれらの積層構造体などが代表的な例である。高濃度ドーピング層の厚さは、50nm以下、より好ましくは10nm以下、ドーブ量は例えば $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上が多用される。一方、低濃度ドーピング層は、例えば、GaAs、GaInAs、あるいはこれらの積層構造体などが代表的な例である。低濃度ドーピング層の厚さは、100nm以下、ドーブ量は例えば $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下が多用される。

【0035】変調ドーブ層111においては、高濃度ドーピング層112から供給されたキャリアが、高濃度ドーピング層112と低濃度ドーピング層113の界面の低濃度ドーピング層側に形成された移動度の高い2次元キャリアのチャンネルを流れる。そのため、高濃度ドーピング層におけるドーブ量を増大させる事で、キャリア濃度pを増大でき、その時、移動度μは低下することが殆ど無い。よって、キャリア濃度pと移動度μの各値をそれぞれ独立に高い値に設定できる。よって、前記(2)式から判るように、Rcの大幅な低減が可能となる。

【0036】図2に示す従来素子では、電流導入層の膜厚を2倍すれば、単純に2倍の抵抗低減効果しか得られない。しかし、本願発明では、変調ドーブ構造を2周期繰り返せば、ヘテロ界面に形成される2次元キャリアのチャンネルは3つとなるため、単純に2倍する以上の効果が得られる。変調ドーブ構造の繰り返し周期数(s)に対し、形成されるチャンネル数は2s-1であり、変調ドーブ構造の繰り返し周期数sを多くすればするほど、得られる効果は大きくなる。以上の効果により、本願発明構造を用いることで、面発光レーザ装置の横方向抵抗を、大幅に低減できる。尚、変調ドーブ構造の繰り返し周波数sは、ドーピング濃度に依存し、且つDBRの反射率の低下の程度等を参酌して決められる。

【0037】本願発明の素子構造において上部電極109から注入された電流は、電流狭窄層107により形成されたアパーチャーを通過して活性層領域に注入される。その際の電流は基板面に対して水平方向の成分を有する。ここで、前記水平方向の電流成分は、変調ドーブ層により形成された低抵抗な2次元キャリア・チャンネルを介して流れる。アパーチャー上部に達成したキャリアが活性層領域に注入されるために、最終的には、基板面に対して垂直方向にキャリアが伝導する必要性が多少生じる。しかし、本願発明においては、キャリアに対する障壁となる禁制帯幅の大きい高濃度ドーピング層の膜厚は、50nm以下と非常に薄いこと、そして、上部、

下部電極間には電圧差による電界が印加されていること等から、それによって、特に大きな抵抗分が付加される可能性は殆ど無い。

【0038】図6に、本願発明によって達成できる素子の横方向抵抗の例を示す。尚、本素子構造の抵抗は、横方向抵抗によって支配されていると考えてよい。図6では、横軸は変調ドーブ層の膜厚、縦軸はこの層の横方向の抵抗値である。変調ドーブ層の構造は、高濃度ドーブ層としてp型のアルミニウムガリウム砒素 (AlGaAs 、膜厚5nm)、低濃度ドーピング層としてノンドープのGaAs (膜厚25nm) とした。よって、一つのチャンネルを形成する最低単位構造の膜厚は30nmである。ここでは、高濃度ドーブ層のp型ドーピング濃度として $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の2種類の場合の計算例である。そのときの正孔のシート・キャリア濃度は、それぞれ $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ と $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 、2次元チャンネルにおける正孔の移動度は、 $500 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ と見積もられる。図6より、高濃度ドーピング層のキャリア濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の場合、変調ドーブ層の膜厚が約300nm以上あれば、 10Ω 以下の横方向抵抗が実現できる事が判る。一方、高濃度ドーピング層のキャリア濃度が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の場合には、更なる低抵抗化が可能となり、50nm程度の膜厚で、 10Ω 以下の横方向抵抗が実現できる。

【0039】次に、反射鏡と電流狭窄層の構成について追加説明する。本願発明においても、これらの技術は、これまで用いてきた一般的な技術を用いて十分である。

【0040】前述のように、面発光レーザの光共振器の長さは著しく短く、レーザ発振時の閾値電流値を低減するためには、上下の反射鏡の反射率を極めて高くすることが必要である。実用に供する閾値電流値を得るに概ね99.5%以上の反射率を必要とする。

【0041】反射鏡としては、屈折率の異なる2種類の半導体を $1/4$ 波長厚 ($\lambda/4n$: ここで、 λ は波長、 n は半導体材料の屈折率) で交互に積み重ねることにより形成した多層膜反射鏡が、主として使用されている。多層膜反射鏡に用いられる2種類の半導体材料には、少ない積層数で高反射率を得るため、両者の屈折率差ができるだけ大きいことが望まれる。また、材料が半導体結晶の場合、格子不整合転位の抑制のため、基板材料と格子整合していることが好まれる。現状では、GaAs/アルミニウム砒素 (AlAs) 系半導体材料、あるいは、二酸化珪素 (SiO_2) /二酸化チタン (TiO_2) 等の誘電体材料から構成した多層膜反射鏡が主として用いられている。また、電流狭窄層は、素子の低しきい値電流化、単一モード化のために必須であり、活性層と電流を注入する電極の間の任意の位置に配置され、活性層に注入される電流を数 μm ～数 $10 \mu\text{m}$ の微小領域 (以下アパーチャーと記述する。) に限定する役割を果たす。具体的には、素子構造内に導入したAlAs層を横方向

から選択的に酸化し、酸化アルミニウム (Al_2O_3) 絶縁層に変化させることで、中央に残った微小なAlAs領域のみで電流を狭窄する方法や、バンドギャップの大きい半導体材料や、素子内の導電型とは逆の導電型にドーピングを施した材料を素子内に埋込むことにより電流を狭窄する方法等が現在主流である。

【0042】次に、レーザ光の発振波長が $1.3 \mu\text{m}$ であることを考慮し、変調ドーブ層による波長 $1.3 \mu\text{m}$ 光の吸収について検討した。図7に、変調ドーブ層の膜厚とそれによる反射鏡の反射率の変化の例について示す。ここでは、変調ドーブ層として、図6の例と同様の構造の例である。横軸は変調ドーブ層の膜厚、縦軸はDBR反射膜の反射率である。波長 $1.3 \mu\text{m}$ 光の吸収は、主としてp型高濃度ドーピング層で起る。ここでは、p型ドーブ濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の場合についてそれぞれ算定した。各条件における吸収係数の値は、それぞれ 100 cm^{-1} 、 500 cm^{-1} 、 1000 cm^{-1} である。既に述べたように、面発光レーザにおいて高性能なレーザ特性を確保するためには、99.5%以上の反射率が必要である。

【0043】図7より、本反射率を確保するためには、p型ドーピング濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の場合には約600nm、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の場合には、約150nmが限界膜厚となることが判る。

【0044】従って、図6及び図7の結果と考え併せると、本願発明においては、 10Ω 前後の素子抵抗を実現する際に、変調ドーブ層を共振器内に配置しても、レーザ光の吸収の観点からは何ら問題にならないことが判明した。

【0045】このことは、本願発明の構造においては、例えば図2に示す従来構造では必須であった再成長工程が不要となり、一度の結晶成長で全素子構造を得ることができる。従って、本願発明の構造を用いると、素子作製時の歩留まりが高いため、大幅な低コスト化を実現できる。

【0046】一方、高濃度ドーブ層による光の吸収を完全に避ける場合には、変調ドーブ構造を共振器外に設けても良い。その際には再成長工程が必要となるが、アパーチャー部に生じる膜厚段差は、図2に示す従来手法よりも低くすることができ、再成長に起因する問題は生じ難い。

【0047】本願発明において、さらに大きな効果を得るには、シート・キャリア濃度 N_s を増大させることが有効である。そのためには、変調ドーブ構造を構成する $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$ の界面に、禁制帯幅の狭い、一例としてガリウムインジウム砒素 (GaInAs) などの半導体材料を低濃度ドーピング層として挿入することは有効である。すなわち、変調ドーブ構造を複数の半導体の積層構造にすることは有効である。それにより、2

次元キャリアのチャンネル幅(厚み)を増大でき、シート・キャリア濃度 N_s を増大させることができる。図5はこの変形された変調ドーピング層の断面図を例示する。112は高濃度ドーピング層、113は低濃度ドーピング層、114は禁制帯幅の狭い低濃度ドーピング層である。

【0048】これまでに述べた諸点を考慮すれば、本願発明は、波長 $1\mu\text{m}$ 以下の面発光レーザ構造においても適用可能である。その際には、レーザ波長光の吸収を抑制するために、変調ドーピング構造を構成する半導体材料は、レーザ波長光の光子エネルギーよりも禁制帯幅が大きいものから選ばれる必要がある。例えば、Al混晶組成の高いAlGaAsやAlGaInP等が適している。

【0049】図8は光モジュールの斜視図を示す。図9に、本発明による面発光レーザを用いた光システムの構成図を示す。図8及び図9において、301は本発明による面発光型レーザ装置、302はレーザ駆動回路、303は受光素子、304は受光素子駆動回路、305は光モジュールパッケージ全体、306は光モジュールを動作させる外部回路、307は光ファイバーである。面発光型レーザ装置301及び受光素子303は、枠体309に保持されている。光モジュールパッケージの内の、例えば、各駆動回路などは、外部回路に接続(308)されている。図中の矢印310、311は、各々光の射出、入射を示している。

【0050】本願発明による面発光レーザは、素子抵抗が低い素子自体の発熱が小さく、温度変動が小さい。それに加えて、面発光レーザ自体のしきい値電流値が小さいことも相まって、使用時のしきい値電流値の変化が非常に小さくなる。それにより、従来の高速光モジュールで必要であったペルチェ素子を不要とすることが出来る。更に、小型かつ単純な回路で素子を駆動することが可能となる。また、面発光レーザ装置を直接的に変調駆動するため、外部変調器も不要とすることが出来る。以上により、部品点数を大幅に少なくでき、また、駆動回路のサイズも小さく出来る。よって、光モジュール自体のサイズも小型化し、合わせて、大幅な低コスト化を実現できる。また、素子作製時の歩留まりが高いことも、低コスト化に有効である。

【0051】更に、本願発明に係る光モジュールは、面発光レーザの抵抗が低く、素子自体の発熱が小さいことから、活性層の劣下が生じにくいので、従来の光モジュールと比較してより長時間に渡って安定な特性を提供することができる。

【0052】以上の効果は、既に述べたように、活性層における深いポテンシャル井戸で電子を閉じ込めることができる温度特性に優れた活性層材料、一例としてGaInNAs等を用いた面発光レーザにおいては、さらに顕著となる。

【0053】尚、図9の光システムの図では、図中の点線は、半導体レーザ設置の光送信側と、受光素子設置の光受信側との区切りを示すが、それぞれの部分が独立して、光送信モジュール、及び光受信モジュールとして構成される場合などもある。また、図では、光出力モニター用の受光素子等は省略して示してある。

<発明の実施の形態1>実施の形態例1として、本願発明による再成長工程が不要な面発光レーザ構造の作製について具体的に記述する。その素子構造の断面図は図3、上面図は図4に示した通りである。図10に製造工程順に示した素子の断面図を示す。

【0054】面発光レーザ構造の作製においては、精密な膜厚制御や急峻なヘテロ界面作製の必要性から、材料の瞬時の切り替えが可能な分子線エビタキシー(MBE)法や有機金属化学気相成長(MOCVD)法、化学ビームエビタキシー(CBE)法等が適している。また、活性層にGaInNAsを用いる場合には、窒素(N)の導入において、非平衡状態での成長法が有利であり、その点でも、先に述べたMBE法やMOCVD法、CBE法等が成長方法として適している。勿論、本願発明の面発光レーザ装置の製造に、上記成長手法のみに限定されるものではない。ここでは成長方法を固体ソースMBE(S-S-MBE: Solid State-Molecular Beam Epitaxy)法とした。GS-MBE法では、III族元素の供給源として、ガリウム(Ga)、インジウム(In)を用い、V族元素の供給源として、砒素(As)に関しては金属Asを用いた。また、n型不純物としてシリコン(Si)、高濃度にp型ドーピングできる不純物原料として四臭化炭素(CBr₄)を用いた。なお、同様のドーピング濃度が達成できれば、p型不純物としてベリリウム(Be)や亜鉛(Zn)を用いても良い。窒素(N)についてはN₂ガスをRF(Radio Frequency)プラズマ励起した窒素(N)ラジカルを使用した。なお、窒素プラズマの励起は、その他にECR(Electron Cyclotron Resonance: 電子サイクロトロン共鳴)プラズマを用いても行うことができる。

【0055】図10の(a)を参照する。半導体基板はn型GaAs(100)基板102(n型ドーピング濃度 $=2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)を用いた。As雰囲気において、基板を昇温した後、基板上にn型AlAs/GaAs(n型不純物濃度 $=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)による下部の半導体多層膜反射鏡103を30周期積層する。尚、AlAs/GaAsは、AlAs層とGaAs層との積層を意味する。以下、こうした表示は同様の積層を意味する。その膜厚は、それぞれ半導体中で $1/4$ 波長厚になるようにした。その後、 $1/2$ 波長厚のノンドープGaAs層第1スペーサー層104、さらに、厚さ10nmのノンドープGa_{0.7}In_{0.3}N_{0.01}As_{0.99}の単層膜からなる活性層105、 $1/2$ 波長厚のノンドープGaA

s層第2スペーサー層106、 $1/4$ 波長厚のノンドープAlGaAs上部電流狭窄層107の順に形成した。

【0056】続いて、わけても本願発明の特徴構造をなすAlGaAs/GaAsからなる変調ドーピング層111を積層した。変調ドーピング層111における低濃度ドーピング層113として厚さ25nmのノンドープGaAs層、高濃度ドーピング層112として厚さ5nmのp型AlGaAs層(p型ドーピング濃度 $=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)を用いた。尚、AlGaAs層におけるAl組成は30%とした。これによって、AlGaAs/GaAs界面には、2次元正孔ガスのチャンネルが形成される。本変調ドーピングの構造を20回繰り返して積層した。続いて、p型GaAsになる第3スペーサー層108(p型ドーピング濃度 $=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)を形成する。この第3スペーサー層108の膜厚は、変調ドーピング構造を含めた合計の膜厚が、 $1/2$ 波長厚の整数倍になるように調整した。最後に、ノンドープAlGaAs/GaAsによる上部の半導体多層膜になる反射鏡110を25周期積層し、結晶成長工程は完了した。尚、上部の半導体多層膜になる反射鏡110のAlGaAs層におけるAl組成は10%とした。また、膜厚は、それぞれ半導体中で $1/4$ 波長厚になるようにした。

【0057】続いて、完成した多層成長ウエハに対し、素子構造作製のためのプロセス工程を施した。最初に二酸化シリコン(SiO_2)膜120を全面に蒸着し、ホット工程にて円形状にパターニングした。この状態が図10の(a)である。

【0058】これをマスク領域にして、AlAs上部電流狭窄層107の直下までメサエッチングを行う(図10の(b))。

【0059】ここで、エッチング液としては、臭化水素(HBr):過酸化水素水(H_2O_2):水(H_2O)を混合した液を用いる。続いて、形成されたメサ構造に、電流狭窄を行うための選択酸化を施す。水蒸気雰囲気中にて、ウエハを400℃に加熱することで、AlAs上部電流狭窄層107の側面部分121、122がAlxOy絶縁層に変化した。これにより、直径 ϕ が5 μm のアーチャー部が素子中央に形成された(図10の(c))。

【0060】その後、 SiO_2 膜120を除去し、ホット工程を経て、上部半導体多層膜反射鏡110の両側を、第3スペーサー層108直上までエッチングにて除去した(図10の(d))。

【0061】尚、本エッチング工程での分留りを向上させるため、上部半導体多層膜反射鏡110と第3スペーサー層108の間に、 $1/4$ 波長厚のアルミニウムガリウムインジウム燐(AlGaInP)からなるエッチングに対するストップ層を導入してもよい。最後に、リング状p側上部電極109(図10の(e))、n側下部電極101を形成し(図10の(f))、面発光レーザ

装置として完成した。尚、図10の例では、ウェットエッチングを用いたので、素子のメサ形状が図3に例示した断面とやや異なっている。しかし、この点は本願発明の基本には関係なく、素子特性も本質的に変わるものではない。また、ドライエッチングを用いることで、図3に例示した断面と同じものを、容易に得ることが出来る。

【0062】このようにして作製された面発光レーザ装置は、発振波長1.3 μm 、閾値電流0.1mAで室温において連続発振し、素子抵抗は9 Ω であった。本素子の変調特性は、30GHzにおいても良好であった。

【0063】続いて、本素子を用いて、図8に示す光モジュールを作製した。又、図9のごとき光システムを構成することが出来た。

【0064】本願発明による光システムは部品点数が少なくでき、また、素子の駆動回路が単純で良いためサイズが小型である。特に、活性層材料として温度特性の良いGaInNAsを用いていることも、その一因である。また、素子作製時の歩留まりも高く、大幅な低コスト化を達成できた。さらに、本光モジュールは、面発光レーザの抵抗が低く、発熱が少ないので、活性層の劣下が生じにくい。よって、従来の光モジュールと比較してより長時間に渡って安定な特性を提供することができた。

<発明の実施の形態2>発明の実施の形態例2として、本発明による再成長工程を駆使した面発光レーザ構造の作製について具体的に記述する。その素子構造は、図11に示した通りである。

【0065】本素子構造の作製にはMOCVD法を用いる。ここで、III族元素であるGa、Inの供給源として、それぞれ有機金属のトリエチルガリウム(TEG)、トリメチルインジウム(TMI)を用い、V族元素であるAsの供給源として、 AsH_3 を用いた。また、n型不純物としてシラン(SiH_4)、p型不純物として CBr_4 を用いた。Nの供給源としては、ジメチルヒドラジン(DMH₂)を使用した。

【0066】作製する半導体基板はn型GaAsの(100)面の基板(n型不純物濃度 $=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)202を用いる。 AsH_3 の供給下のAs雰囲気において基板を昇温し、基板を昇温した後、基板上にn型AlAs/GaAs(n型不純物濃度 $=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)による下部の半導体多層膜になる反射鏡203を30周期積層する。その膜厚は、それぞれ半導体中で $1/4$ 波長厚になるようにした。その後、 $1/2$ 波長厚のノンドープGaAs層になる第1のスペーサー層204、さらに、厚さ10nmのノンドープGa_{0.7}In_{0.3}No.0As_{0.0}の井戸層、厚さ10nmのノンドープGaAs障壁層からなる多重井戸活性層205を形成した。尚、井戸層数は3とした。続いて、 $1/2$ 波長厚のノンドープGaAs層第2スペーサー層206、厚さ10nmのn型

のGaInPからなる電流狭窄層207を形成した。

【0067】続いて、本願発明をわけても特徴づける構造であるAlGaAs/GaInAs/GaAsからなる変調ドープ層211を積層した。変調ドープ層211における低濃度ドーピング層213として厚さ5nmのノンドープGaAs層と厚さ5nmのノンドープGaInAs層の積層構造とし、高濃度ドーピング層212として厚さ5nmのp型AlGaAs層（p型ドーピング濃度 $=1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ）を用いた。尚、AlGaAs層におけるAlの組成は40%とした。これによって、主としてGaInAs層内に2次元の正孔ガスによるチャンネルが形成される。こうした変調ドーピング構造を6回繰り返して積層した。続いて、p型GaAs第3スペーサー層208（p型ドーピング濃度 $=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）の一部を形成して、一回目の結晶成長工程を終了する。

【0068】大気中に取り出したウエハに対し、ホット工程で所望のパターンを形成し、直径 ϕ が μm のアパーチャ部形成のため、変調ドープ層211と電流狭窄層206をエッチングにより除去した。

【0069】ここで、再びウエハを成長装置内に導入し、1/2波厚のp型GaAs第3スペーサー層208（p型ドーピング濃度 $=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）を形成した。尚、アパーチャ部における段差は100nm程度であり、それによる再成長時の悪影響は観測されなかった。最後に、ノンドープAlAs/GaAsによる上部半導体多層膜反射鏡210を25周期積層し、結晶成長工程は完了した。尚、膜厚はそれぞれ半導体中で1/4波長厚になるようにした。完成した多層成長ウエハに対し、素子構造作製のためのプロセス工程を施した。最初にSiO₂を全面に蒸着し、ホット工程にて円形状にパターンニングした後、これをマスクにして、上部半導体多層膜反射鏡210の両側を、第3スペーサー層208直上までエッチングにて除去した。尚、本エッチング工程での分留りを向上させるため、上部の半導体多層膜反射鏡210と第3スペーサー層208の間に、1/4波長厚のAlGaInPからなるエッチングストップ層を導入してもよい。最後に、リング状p側の上部電極209、n側の下部電極201を形成し、素子として完成した。

【0070】このようにして作製された面発光レーザ装置は、発振波長1.3 μm 、閾値電流0.1mAで室温において連続発振し、素子抵抗は8 Ω であった。本素子の変調特性は、30GHzにおいても良好であった。

【0071】尚、第3スペーサー層208とp側電極209間の接触抵抗を低減するために、第3スペーサー層208成長後に、CBr₄による炭素（C）デルタドーピングを施すことは有効である。

【0072】本素子を用いて、図8に示す光モジュールを作製した。又、図9のごとき光システムを構成することが出来た。実施例1の場合と同様に、高性能、かつ、

長寿命であった。さらに、モジュール自体のコストも大幅に低減できた。

【0073】本実施例では、活性層としてGaInNAsを用いたもののみの例を説明したが、そのみに限定されるものではなく、各種面発光半導体レーザ装置を提供することが出来ることは言うまでもない。例えば、GaAsSbなどの材料を用いても、1.3 μm 帯の面発光レーザ装置を提供することが可能である。また、前述したように、低濃度ドーピング層としてAl組成の高いAlGaAsなどを用いれば、1 μm 以下の光に対して材料自体が透明となり、波長1 μm 以下の面発光レーザに応用することも可能である。また、インジウム燐（InP）基板上においても、2次元キャリアが形成できる良好な半導体材料の組み合わせがあれば、同様の効果を得ることが可能となる。それによって、高性能で、かつ、低コストな光モジュールを提供することができる。

【0074】以上、各実施例をもって示して説明したように、本願発明によれば、面発光レーザにおける素子抵抗を格段に低下させることにより、前記面発光レーザを光源として用いる高速光モジュールの高性能化、低コスト化が図れる。懸かる低抵抗な面発光レーザは、半導体基板上に、光を発生する活性層と、活性層を挟んで基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、前記活性層と前記電流狭窄領域の上下を反射鏡で挟んだ共振器とを有し、電流狭窄領域を挟んで基板と逆側に配置された電極から前記電流狭窄領域へ流れる電流が、基板面に対して水平方向の成分を有し、前記水平方向の電流成分を、主として2次元キャリアガスのチャンネルを介して伝導させる事により達成される。具体的には、電流狭窄層と上部電極の間に変調ドープ層を導入することによって達成される。

【0075】

【発明の効果】本願発明によれば、高速動作が可能な面発光半導体レーザ装置を提供することが出来る。本願発明は、例えば、10Gb/s以上の高速動作を達成が可能である。

【0076】本願発明によれば、より高速動作が可能な面発光半導体レーザ装置搭載の光モジュールを提供することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、従来に光システムの例を示す概略説明図である。

【図2】図2は、面発光レーザ装置の従来例を示す断面図である。

【図3】図3は、本願発明の面発光レーザ装置の例を示す断面図である。

【図4】図4は、本願発明の面発光レーザ装置の例を示す上面図である。

【図5】図5は、変調ドープ層の別な形態を示す断面図である。

【図6】図6は、本願発明による変調ドーブ層の膜厚とこの横方向の抵抗値の関係を示す図である。

【図7】図7は、本願発明による変調ドーブ層の膜厚と反射鏡における反射率の関係を示す図である。

【図8】図8は、光モジュールの例を示す斜視図である。

【図9】図9は、光システムの例を示す概略説明図である。

【図10】図10は、本願発明の面発光レーザー装置の製造工程の例を示す断面図である。

【図11】図11は、本願発明の面発光レーザー装置の別の例を示す断面図である。

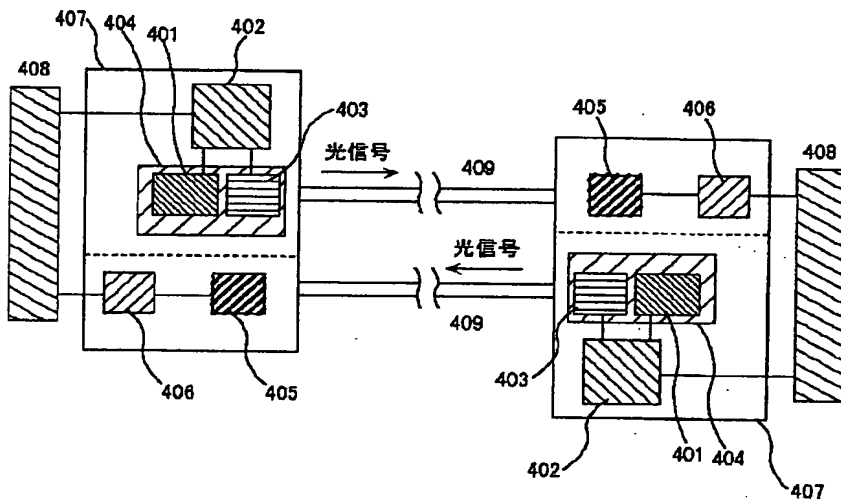
【符号の説明】

101：下部電極、102：半導体基板、103：下部の多層膜反射鏡、104：第1スペーサー層、105：活性層領域、106：第2スペーサー層、107：電流狭窄層、108：第3スペーサー層、109：上部電極、110：上部の多層膜反射鏡、111：変調ドーブ層、112：高濃度ドーピング層、113：低濃度ドーピング層、201：下部電極、202：半導体基板、203：下部の多層膜反射鏡、204：第1スペーサー層、205：活性層領域、206：第2スペーサー層、207：電流狭窄層、208：第3スペーサー層、209：上部電極、210：上部の多層膜反射鏡、211：変調ドーブ層、212：高濃度ドーピング層、213：低濃度ドーピング層、301：面発光レーザー装置、302：レーザー駆動回路、303：受光素子、304：受光素子駆動回路、305：光モジュールパッケージ全体、306：外部回路、307：光ファイバー、401：半導体レーザー、402：レーザー駆動回路、403：外部変調器、404：ペルチェ素子、405：受光素子、406：受光素子駆動回路、407：光モジュールパッケージ全体、408：外部回路、409：光ファイバー、501：下部電極、502：半導体基板、503：下部の多層膜反射鏡、504：第1スペーサー層、505：活性層領域、506：第2スペーサー層、507：電流狭窄層、508：電流導入層、509：第3スペーサー層、510：上部電極、511：上部の多層膜反射鏡。

* 03：下部の多層膜反射鏡、204：第1スペーサー層、205：活性層領域、206：第2スペーサー層、207：電流狭窄層、208：第3スペーサー層、209：上部電極、210：上部の多層膜反射鏡、211：変調ドーブ層、212：高濃度ドーピング層、213：低濃度ドーピング層、301：面発光レーザー装置、302：レーザー駆動回路、303：受光素子、304：受光素子駆動回路、305：光モジュールパッケージ全体、306：外部回路、307：光ファイバー、401：半導体レーザー、402：レーザー駆動回路、403：外部変調器、404：ペルチェ素子、405：受光素子、406：受光素子駆動回路、407：光モジュールパッケージ全体、408：外部回路、409：光ファイバー、501：下部電極、502：半導体基板、503：下部の多層膜反射鏡、504：第1スペーサー層、505：活性層領域、506：第2スペーサー層、507：電流狭窄層、508：電流導入層、509：第3スペーサー層、510：上部電極、511：上部の多層膜反射鏡。

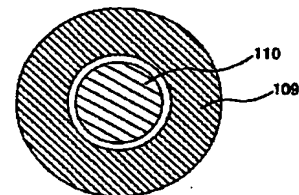
【図1】

図 1



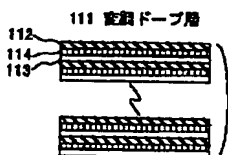
【図4】

図 4



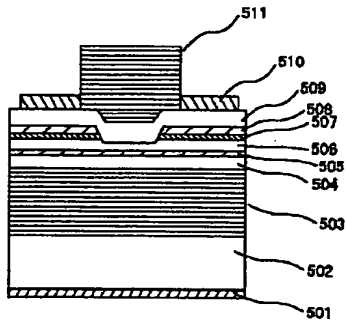
【図5】

図 5



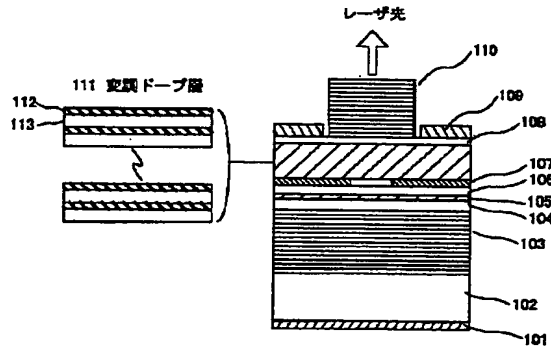
【図2】

図 2



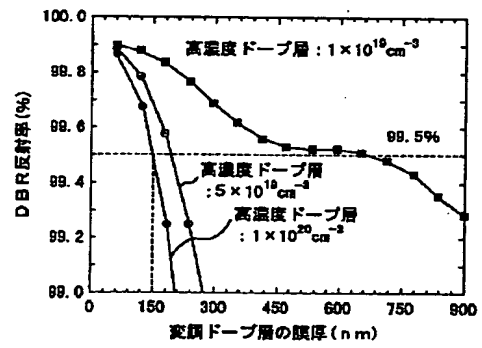
【図3】

図 3



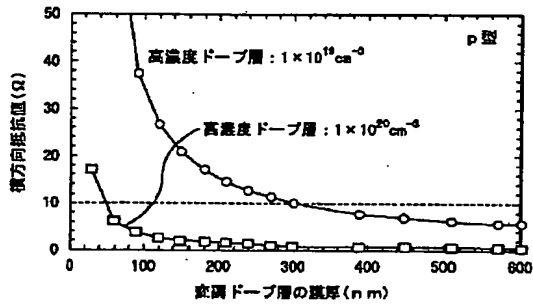
【図7】

図 7



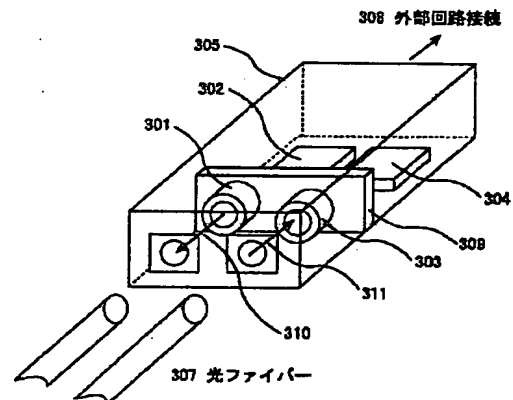
【図6】

図 6



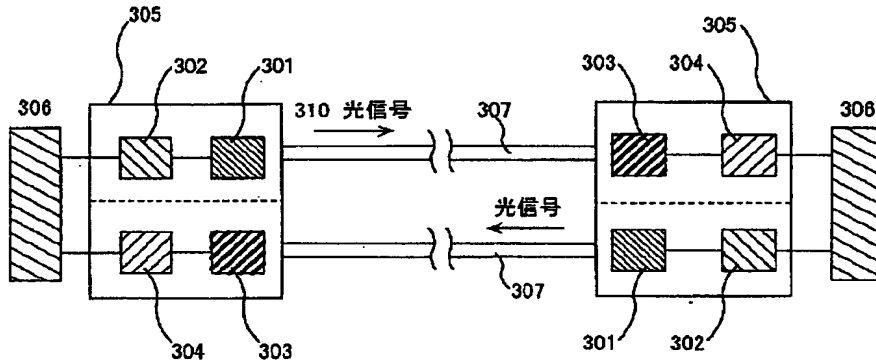
【図8】

図 8



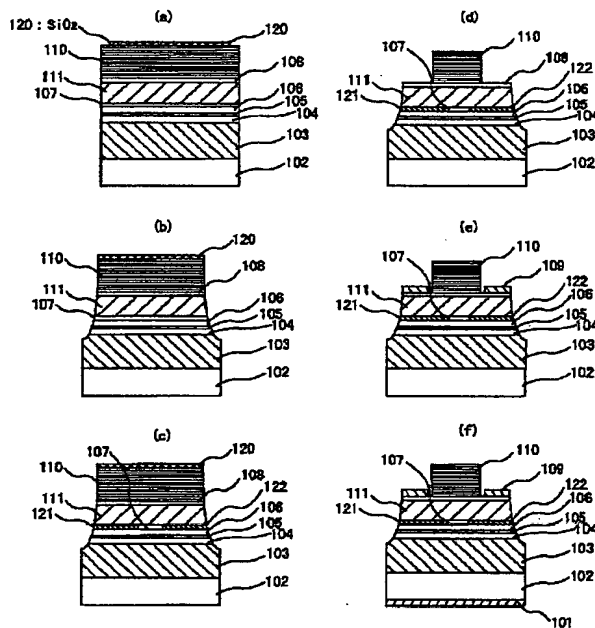
【図9】

図 9



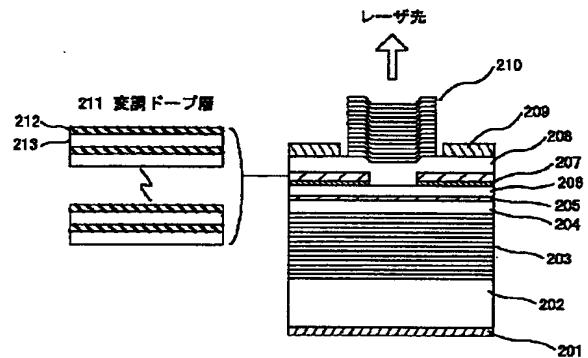
【図10】

図 10



【図11】

図 11



フロントページの続き

(72)発明者 田中 俊明
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

Fターム(参考) 5F073 AB17 AB28 BA01 CA05 CB02
DA05 DA22 DA35 EA14